

報 告

持続的運動（歩行）による末梢血液循環機能の改善： 指尖脈波計による検討

清末 達人* 壹岐 麻美** 伊藤茉侑子** 河口 愛**
河崎 恵** 佐藤 恵里加** 宮崎 智江** 宮定 彩香**

＜要 旨＞

運動による末梢血液循環機能改善の効果について調べるため、女子大生（7名、21歳）および中高年（男8名、女2名、49～74歳、 54.8 ± 8.4 歳）を対象として、3ヶ月間の持続的歩行運動が指尖脈波の2次微分波形に与える影響について検討した。1日1万歩の運動負荷開始後、平均歩数が有意に増加した女子大生のグループでは（運動前 6613 ± 2295 歩/日、運動後3ヶ月で 9874 ± 1823 歩/日）、指尖脈波の2次微分波形におけるa,b,c,dの波高から求めた加速度脈波係数（APG-index）は、運動開始後3ヶ月の時点で、7人中5人において上昇し、末梢血液循環の改善傾向が認められた。他方、中高年のグループ全体としては、運動指導は有意な平均歩数の増加に結びつかなかった（運動前 7763 ± 4817 歩/日、運動後3ヶ月で 8719 ± 2443 歩/日）。しかし、平均歩数が8000歩/日以上サブグループでは、APG indexの上昇傾向が認められ、平均歩数が8000歩/日未満のサブグループではAPG indexが低下する傾向があった。期間中の平均歩数とAPG indexの変化量（ Δ APG index）との相関を調べたところ、中高年では、運動負荷開始後2ヶ月と3ヶ月において、統計学的に有意な、かなり強い正の相関（Spearmanの順位相関係数0.65、および0.74、 $P < 0.05$ ）が認められた。一方、女子大生のグループでは、歩数と Δ APG indexとの間に有意な相関は見られなかった。以上の結果から、ある程度以上の強度を持った運動を持続することによって、指尖脈波から推察した末梢血液循環機能の改善が期待できることが示された。指尖脈波の測定は、簡便かつ非侵襲的であり、中高年を対象とした特定健康診査・特定保健指導においても活用できるものと推察される。

キーワード：加速度脈波、歩行運動、女子大生、中高年、特定健康診査・特定保健指導

はじめに

本研究は、2009年度の栄養学科4年生の卒業研究として実施されたもので、女子大生および中高年を対象として、持続的運動が指尖脈波の2次微分波形から推察した末梢血液循環機能に与える影響を明らかにすることを目的とした。

指先に装着する光電式容積脈波の波形から、末梢での血液循環動態を捉えようとする試みが以前からなされている。さらに、指尖脈波の波形を二回連続して微分することにより、動脈血管の硬化を反映する反射圧波の増大を鋭敏に解析することが可能となり、

加齢、血圧、疾患に伴う末梢血管動態の変化の検出に用いられる^{1,2,3)}。佐野ら²⁾は、二次微分波形から加速度脈波係数（accelerated plethysmogram index, APG index）を求め、加齢や疾患などによる動脈の伸展性の悪化を定量的に評価する方法を開発した。最近では、より被験者の直感に訴えかけられる「血管推定年齢」⁴⁾や「血管老化偏差値」⁵⁾などの算出もおこなわれている。

これまでに、持続的な運動が、指尖脈波から求めた末梢血管硬化の指標を改善するという多くの報告があるが^{6,7,8)}、一般市民を対象として、継続した運動の効果を調べた実践的研究は限られる。特に、2008年4

* 西南女学院大学 保健福祉学部 栄養学科 教授
** 西南女学院大学 保健福祉学科 栄養学科 学生

月より、特定健康診査・特定保健指導（いわゆるメタボ健診）が始まり、地域あるいは職場の栄養士、管理栄養士も関与する栄養指導や運動処方によって生活習慣の改善をはかり、生活習慣病への罹患を減らそうとする取り組みが始まっている⁹⁾。指尖脈波の測定は、装置へのアクセスさえ可能であれば、簡便で非侵襲的であり、食生活習慣、運動習慣の適切さを調べる指標として、腹囲、血漿コレステロール値、血糖値、血圧というメタボリックシンドロームの各指標を補完する役割を果たせる可能性がある。

方 法

1. 被験者

この研究を実施するにあたっては、事前に西南女学院大学倫理委員会の審査を受け承認を受けた。また、卒業研究としてこの研究を選択した7名の女子学生および、この研究に賛同し、協力を申し出た成人男性（8名）、および女性（2名）からは、西南女学院大学倫理委員会の規定に従って、あらかじめ書面による同意を得ている。被験者の基礎的データを表1に示す。女子学生7名のうち、1名が大学でスポーツ部（バレー部）に所属していた。また、成人のうち5名が、ウォーキングやスポーツジムでのトレーニングなどの運動を継続して行っていた。

表1 対象者の年齢、体格についての基礎データ

	女子大生	中高年
人 数	7 名	10 名 (男 8 名、女 2 名)
年 齢	21 歳	54.8±8.4 歳
身 長	157.9±6.5 cm	165.5±4.4 cm
体 重	55.7±11.3 Kg	66.8±6.6 Kg
BMI	22.4±4.8	24.3±1.6
運動習慣あり	1 名	5 名

2. 歩行運動

歩行運動の負荷開始に先立って、7日間の平均歩数および安静時の加速度脈波係数、APG index（後述）を測定した。その後、被験者には、一日1万歩を目標に歩行運動を行うよう依頼した。運動期間は最長3ヶ月としたが、これは、先行する研究⁸⁾での運動期間を参考にした。毎日の実際の歩数は、OMRON社製 HJ-15、あるいは、スズケン医療機社製 Lifecorder

EXにて計測し記録した。運動負荷開始後2週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月の時点でのAPG indexを測定し、負荷前の値と比較した。また、それぞれの期間内の平均歩数と、各時点でのAPG indexの値から、負荷前の値を差し引いて求めたAPG index変化量（ Δ APG index）との相関を調べた。

3. 加速度脈波

指尖脈波は、フューチャーウェイブ社製BCチェッカー®（Blood Circulation Checker）を用いて測定した。図1に指尖脈波の波形(A)とその2次微分波形(B)の模式図を示している。本装置では、指尖容積脈波を光学的に測定し、2次微分波形の4つのピーク、a, b, c, dの波高を計測し、加速度脈波係数APG index、 $(-b+c+d)/a \times 100$ を算出して表示する。APG indexの値はおおよそ+120から-120までの値となり、加齢などによる動脈血管の硬化によりAPG indexは低下することが知られている^{10,11,12)}。測定は、安静時に座位にて、左手の第2指より行い、4回連続してAPG indexを測定し、第3回目と第4回目の値を平均したものをを用いた。これは予備実験から、第1回目と第2回目の値は、その後の計測値よりもやや低値を示したためである（未発表データ）。計測開始直後は、体調や自律神経系の影響が出やすいものと考えられる。

4. 統計処理

数値は平均値±標準偏差で表し、運動負荷開始前と比較した、2週間後、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月後の1

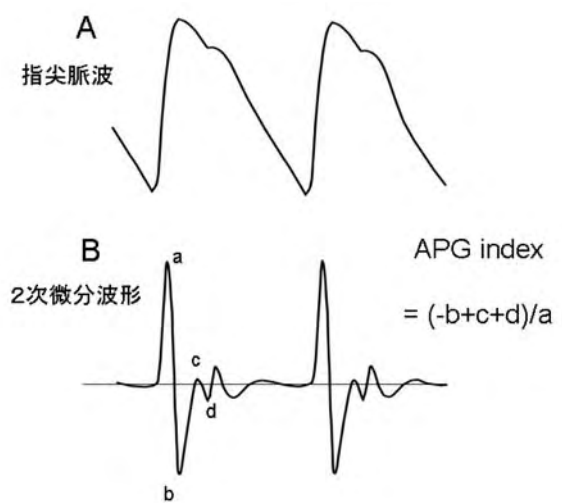


図1 指尖脈波 (A) とその2次微分波形 (B)。2次微分波形の4つのピーク a,b,c,d について、基線からの波高を計測し、加速度脈波係数 (APG index) を算出した。使用した装置 (BC チェッカー®) は5拍分の APG index の平均値を計算して表示する。

日あたりの平均歩数、APG indexの変化の検定には、一元配置分散分析（ANOVA）と、その後のTurkeyによる検定をおこなった。運動負荷開始2週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月後での、負荷前と比較したAPG indexの変化量（ Δ APG index）とその間の平均歩数との相関の検定には、Spearmanの順位相関係数の算出と有意差検定を行った。統計ソフトは windows版の SPSS (version 13.0J)を使用し、危険率5%以下を有意水準とした。

結 果

1. 運動負荷によるAPG index の変化

表2に、女子大生および中高年の対象者について、運動負荷前と負荷後の実際の歩数とAPG indexの値をまとめている。女子大生の歩数にのみ、負荷前と比較して負荷後2週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月に統計学的に有意な($P<0.05$)増加が認められた。

図2は、女子大生についてAPG indexの変化をグラ

フ化したもので、運動負荷開始から2週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月と経過するに伴いAPG indexが増加する傾向（末梢血液循環の改善）が認められたが、統計学的な有意差はなかった。図3に、10名の中高年についてAPG indexの変化を示しているが、女子大生の場合と異なり、index値が増加するもの、減少するものが混在し、一定の傾向は見られない。中高年の場合、トータルでは負荷後に平均歩数の有意な増加がなかった（表2）。APG indexの増加と運動強度とは相関すると予想されるため、運動強度の個人差が大きく影響しているのではないかと考えられる。そこで、3ヶ月間の平均歩数が8000歩以上の群（6名）と8000歩未満の群（4名）に分けてAPG indexの変化を比較した（図4）。この図から、8000歩以上の被験者では、APG indexが増加する人が多く、逆に8000歩未満の被験者では、APG indexが低下する人が多かったことがわかる。以上より、運動期間中の一日あたりの平均歩数とAPG indexの改善（または悪化）とは相関するのではないかと考え、次の解析を行った。

表2 女子大生および中高年についての、運動負荷前と負荷開始後の各ステージでの平均歩数とAPG indexの値。*負荷前に比べて有意（ $P<0.05$ ）

女子大生

	負荷前	2週間	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月
歩数	6613 \pm 2295	10887 \pm 2039*	10622 \pm 19.6*	10064 \pm 1638*	9874 \pm 1823*
APG index	70.6 \pm 28.2	74.7 \pm 12.6	85.9 \pm 14.7	75.4 \pm 21.5	83.6 \pm 17.3

中高年

	負荷前	2週間	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月
歩数	7763 \pm 4817	8263 \pm 2045	8500 \pm 2370	8837 \pm 2549	8719 \pm 2443
APG index	18.2 \pm 26.0	22.8 \pm 22.4	30.7 \pm 35.6	20.2 \pm 30.8	23.6 \pm 44.9

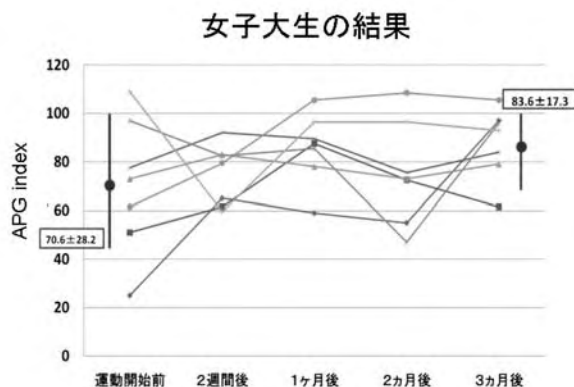


図2 女子大生7名についての、持続的運動（歩行）が指尖脈波の2次微分波形から求めたAPG indexに与える影響のまとめ。

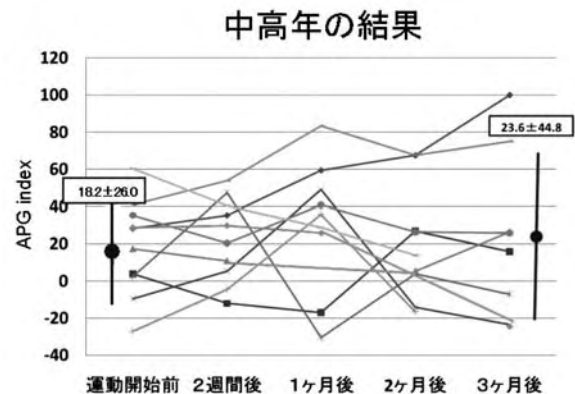


図3 中高年10名について調べた、持続的運動（歩行）が指尖脈波の2次微分波形から求めたAPG indexに与える影響。

2. 運動期間中の平均歩数とAPG index 変化量との相関

図5は、女子大生を対象として、運動負荷開始後、2週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月の時点までの期間の1日あたりの平均歩数を縦軸、負荷前の対照と比較したAPG indexの変化量(Δ APG index)を横軸として相関を調べたものである。Spearmanの順位相関の検定を行ったところ、いずれの時点においても、歩数と Δ APG indexとの間に統計学的に有意な相関はなかった。

次に、中高年を対象として、同様の解析を行った(図6)。運動負荷開始後、2ヶ月と3ヶ月において、この期間中の平均歩数と Δ APG indexとの間に、かなり強い有意な相関関係が認められた(Spearmanの順位相関係数が、それぞれ0.65と0.74、いずれも危険率5%以下)。

考 察

本研究では、女子大生、および中高年の男女を対象として、3ヶ月にわたり、1日1万歩を目標とした歩

行運動が動脈血管の伸展性に与える影響について、指尖脈波の2次微分波形を指標として検討した。女子大生については、運動負荷開始後、1日の平均歩数は有意に増加したが(最大で、約65%)、中高年については、負荷前と比較して有意な歩数の増加はなかった。これについては、以前よりウォーキングを続けている被験者が含まれていること、被験者に対する、負荷前の対照を測定する意味についての説明が不十分であったなどの理由が考えられる。

有意な運動量の増加(50~65%)があった女子学生では、統計的有意差はなかったものの、運動の継続とともに、APG indexが上昇する例が多かった(図2)。一方、中高年では運動量が多かった群(3ヶ月間の平均歩数8000歩/日以上)では、APG indexが上昇する例が多く、逆に、運動量が少なかった群(平均歩数8000歩/日未満)では、低下する例が多かった。より大規模な研究による検証が必要なことは言うまでもないが、運動によるAPG indexの改善が期待できるのは、ある程度以上の強度を持った運動負荷を長期間続けた場合に限られるものと推測される。

この点に関しては、一般住民を対象として、持続的運動が指尖脈波に与える影響について検討した、これ

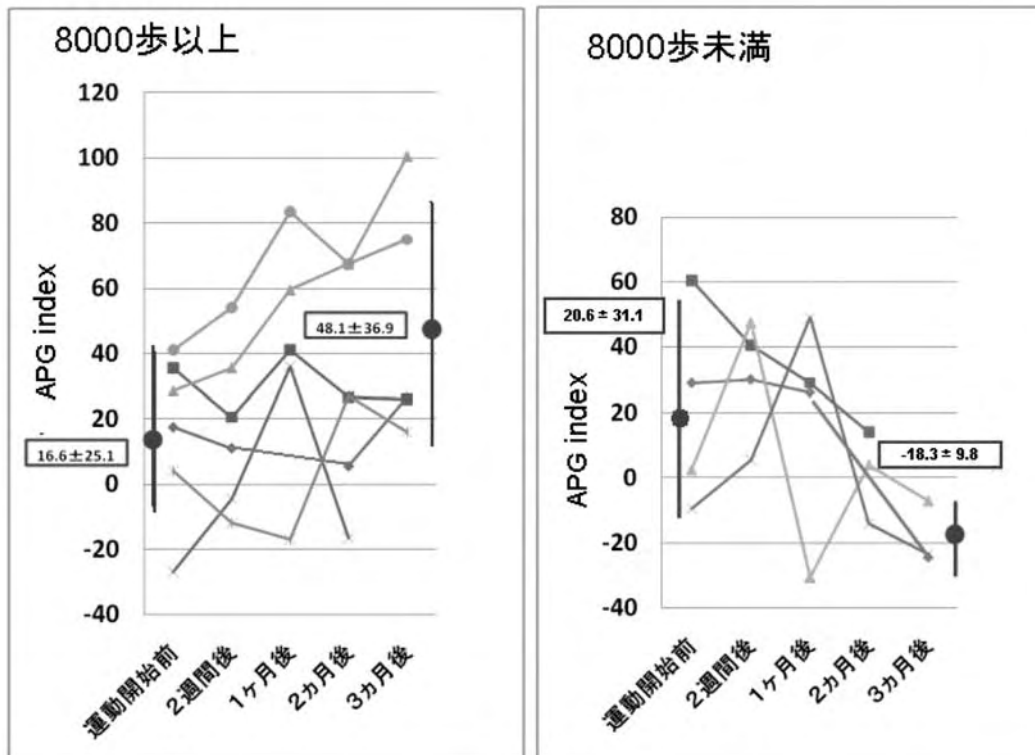


図4 運動強度の違いを考慮するため、3ヶ月を通した平均歩数が8000歩を超えた人(6名)と超えなかった人(4名)に分けて表示した。平均歩数が8000歩を超えると、APG indexに改善がみられる人の割合が高かったのに対し、超えない場合は、APG indexが低下する例が多かった。

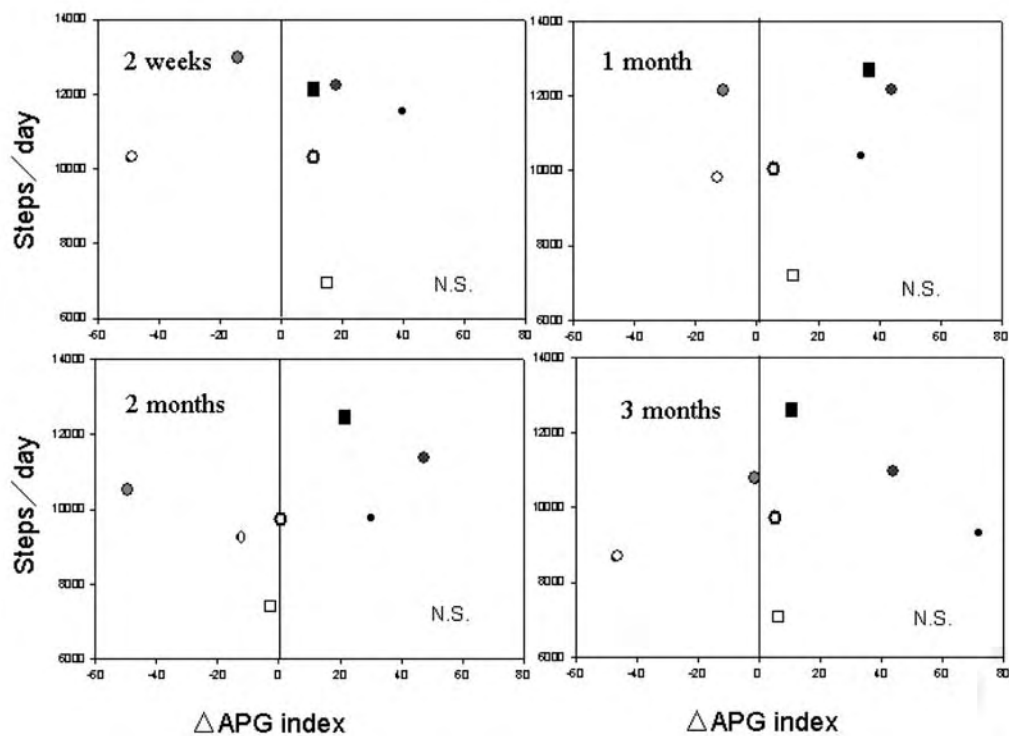


図5 7名の女子大生における歩行運動開始から3ヶ月間の平均歩数とAPG indexの変化量(ΔAPG index)との関係。Spearmanの順位相関についての検定をおこなった結果、運動開始から2週間、1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月のいずれのステージにおいても、歩数とΔAPG indexとの間に有意な相関は認めなかった。

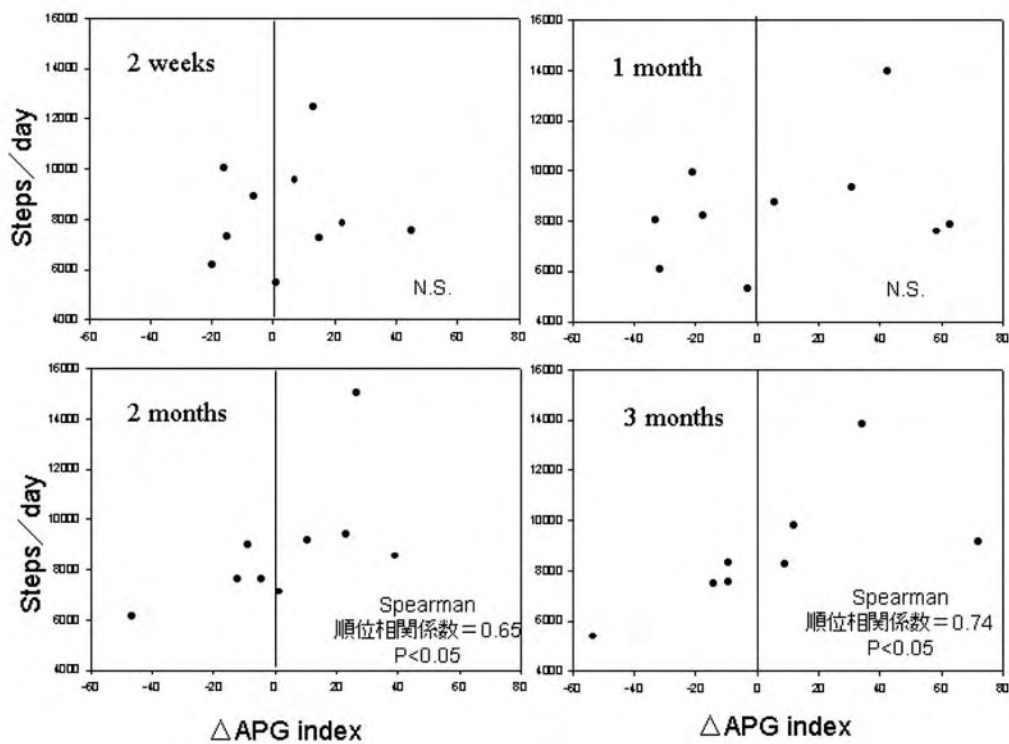


図6 中高年(10名)における歩行運動開始から3ヶ月間の平均歩数とAPG index変化量(ΔAPG index)との関係。Spearmanの順位相関についての検定の結果、運動開始から2ヶ月および、3ヶ月の時点において、歩数とΔAPG indexとの間に、有意な(P<0.05)、かなり強い相関が認められた。

までの報告⁸⁾と一致する。この研究において、週一回の運動教室での運動指導だけの群ではAPG index等の指尖脈波に関する測定値に有意な変化はみられず、運動指導に加えて週3回の自転車エルゴメーターでの40分間の運動負荷を加えた群のみで、APG indexをはじめとする指尖脈波のパラメーターの有意な改善が認められている。

女子大生と中高年について、歩数とAPG indexの変化量 (Δ APG index) との相関を調べたところ、中高年では、運動開始後2ヶ月と3ヶ月の時点で、歩行数と Δ APG indexの間に有意な正の相関関係が生じた(図6)。 Δ APG indexの値から推測される末梢血液循環機能の改善(もしくは悪化)は運動量に比例することがわかる。一方、女子大生においては、中高年と異なり、運動期間中の平均歩数と Δ APG indexとの間に有意な相関は認められなかった(図5)。中高年の場合との違いを説明する因子として次のようなものが考えられる。①女子大生では、負荷前のAPG indexが 70.6 ± 28.2 と高く、運動による増加量が大きくない。②女性ホルモンの影響。若い女性においては、女性ホルモンによって血管の伸展性が高く維持されており、月経周期に伴う女性ホルモン量の増減による変動がAPG index¹⁰⁾、あるいは動脈血管のコンプライアンス¹³⁾に大きく影響することが知られている。我々の予備的研究においても、APG indexは月経周期に伴って、排卵前後に高く月経期に低い周期的変動を示した(未発表データ)。

今回の研究において、中高年におけるある程度以上の運動強度を持った持続的運動習慣の有無は指尖脈波のindexに敏感に反映されることが示された。指尖脈波の解析から末梢血液循環の機能を調べる本法は、簡便かつ非侵襲的であるため、中高年における運動習慣の適切さを調べる指標として、メタボリックシンドローム判定の各指標を補完する役割を果たせる可能性がある。

制限事項

今回の中高年の協力者は学生の保護者や知人であり、不特定多数の中から抽出した研究対象者ではない。研究への貢献意欲などの点で特異なグループである可能性がある。

おわりに

最近始まった特定健康診査とそれによる保健指導では、これに関係する栄養士、管理栄養士の力量が試されることになる。本研究では、卒業後、これに関係する実務につく可能性がある栄養学科の学生に、保健指導を実際に体験してもらうことも目的の一つであった。今回の対象者は、学生の保護者や知人であり、最後まで暖かく学生たちに協力して頂けたが、もし、これが実際の保健指導において全くの他人であったならと想像した時、人々を説得して長期間協力してもらうことの大変さについてすべての学生が実感できたものと推察される。

謝 辞

今回の研究に協力して頂いた10名の方々に對し、長期間にわたって多大なご迷惑をおかけしたことをお詫びし、あわせて厚い感謝の気持ちを表します。

参考文献

- 1) 佐野裕司、片岡幸雄、生山 匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用. 労働科学. 61 : 129-143, 1985
- 2) 佐野裕司、片岡幸雄、生山匡、和田光明、今野廣隆、川村協平、渡辺 剛、西田明子、小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用 (第2報) -波形定量化の試み-. 体力研究. 68 : 17-25, 1988
- 3) Takazawa K, Tanaka N, Fujita M, Matsuoka O, Saiki T, Aikawa M, Tamura S, Ibukiyama C: Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative of photoplethysmogram waveform. Hypertension. 32 : 365-370, 1998
- 4) 高沢謙二、黒須富士夫、斎木徳祐、安藤寿章、奥秋勝彦、Ranjeet Baral、田中信大、伊吹山千晴：加速度脈波による血管年齢の推定. 動脈硬化. 26 : 313-319, 1999
- 5) 高田晴子、沖野加州男：加速度脈波の“血管老化スコア”を用いた動脈硬化リスク評価—10年間レトロスペクティブ・コホートスタディー. 総合健診. 31 : 374-380, 2004
- 6) 佐野裕司、片岡幸雄、小山内博：身体トレーニングが

- 加速度脈波に及ぼす影響（その2）－長期トレーニングの影響－. 千葉体育学研究. 16 : 39-53, 1993
- 7) 渡辺剛、堀松英紀、町田茂、佐野裕司、片岡幸雄：羽村市スポーツセンターにおける健康体力づくり教室への参加が、体組成、血圧および加速度脈波に及ぼす効果. 千葉体育学研究. 18 : 67-72, 1994
 - 8) 西村千尋、今村裕行、森脇千夏、二神友美、城田知子、今村英夫、嶋田良子、内田和宏：運動療法が中高年女性の加速度脈波に及ぼす効果について. 日本運動生理学雑誌. 5(2) : 145-152, 1998
 - 9) 厚生労働省告示第百五十号. 特定健康診査及び特定保健指導の適切かつ有効な実施を図るための基本的な指針. 平成二十年三月三十一日
 - 10) 曾根郁夫：中高年婦人の健康管理における指尖加速度脈波検査の有用性についての検討. 杏林医会誌. 28(4) : 485-496, 1997
 - 11) 森岡郁晴、内海みよ子、辻久美子、熊谷幸恵、山本博一、宮井信行、宮下和久：加速度脈波に及ぼす生活習慣改善の影響. 和歌山県立医科大学看護短期大学部紀要. 7 : 29-35, 2004
 - 12) 柴 玲子、野口純子、竹内美由紀、植村裕子、宮本政子、松村恵子、秦 幸吉：健康女性の末梢循環機能と日常の身体活動の検討. 日本産科婦人科学会香川地方部会雑誌. 9(1) : 17-21, 2007
 - 13) Hayashi K, Miyauchi M, Seno N, Takahashi K, Yamazaki K, Sugawara J, Yokoi T, Onodera S, Mesaki N: Variations in carotid arterial compliance during the menstrual cycle in young women. Exp Physiol. 91: 465-72, 2006

Influence of Walking for Three Months on Peripheral Blood Circulation Evaluated with Second Derivatives of Plethysmogram in Female Students and in Middle-aged and Elderly Citizens.

Tatsuto Kiyosue, Asami Iki, Mayuko Ito, Ai Kawaguchi,
Megumi Kawasaki, Erika Sato, Tomoe Miyazaki, Ayaka Miyasada

<Abstract>

Effects of exercise (walking) on acceleration plethysmography were assessed in female students (n=7, 21 yrs.) and in middle-aged and elderly volunteers (8 male and 2 female, 54.8±8.4 yrs.). In each subject, the acceleration plethysmogram index (APG index) was measured before and after 2 weeks, 1, 2 and 3 month exercise prescription to walk 10000 steps per day. In the case of the young female students who fulfilled the task (from 6613±2295 steps/day, before, to 9874±1823 steps/day, after 3 months), the APG index was increased from 70.6±28.2 to 83.6±17.3, although the difference was not statistically significant. As exercise prescription did not increase average foot steps/day in the middle-aged and elderly, the subjects were divided into 2 subgroups. Subjects who walked more than 8000 steps/day for 3 months (n=6) had a tendency to record an increased APG index as compared to that recorded before exercise. While, subjects walked less than 8000 steps/day (n=4) tended to have a decreased APG index. In the middle-aged and elderly group as a whole, there were relatively strong correlations between average foot steps/day and increments (or decrements) of the APG index after 2 and 3 months. In contract, there were no statistically significant correlations between two parameters in female students. It was indicated that continuous exercise above a certain strength could increase the APG index and would be beneficial to improve peripheral blood circulation.

Key words: walking, accelerated plethysmography, female students, middle-aged and elderly, specific medical examination, specific health consultation